

Изследване възможността за определяне анизотропията на листовите материали чрез измерване на твърдост по метода на Викерс

Емил Янков, Данаил Господинов, Валентин Гагов

Abstract: *Development of technology lead to receiving new materials with improved technological and mechanical properties, that includes metal sheet and non-metal sheet materials. Mechanical properties strongly depend of anisotropy on the sheet material got from previous technological operations. The quick and easy defining is one of the materially significant principles for mechanical engineering. The purpose of this work is researching the possibility for defining anisotropy of sheet material X5CrNi18-10 by measuring of hardness with Vickers method.*

Key words: *sheet metals, normal anisotropy, planar anisotropy, chromium–nickel austenitic steel, plastic deformation at low temperature, Vickers Hardness.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Важна роля при формообразуването играе анизотропията, като внася съществени изменения в поведението на листовия метал по време на процеса.

Анизотропията и изотропията в листовите метални материали оказват влияние върху механичните и физичните свойства, дължащо се на различната ориентация на зърната [1]. За много от материалите, след получаването им, зърната са насочени случайно, преди да се извърши деформационна обработка (валцоване, сплескване, калиброване, пресоване и др.).

В процеса на деформиране при сравнително ниска температура всеки кристалит, намиращ се в еднородната част на метала, независимо от изходната си ориентация се подлага на формоизменение в определено направление относно външната деформираща сила. При деформиране на материала, зърната се преориентират в определена посока, което води до анизотропност на материала. Предпочитаната кристалографска ориентация, както е известно, се нарича деформационна текстура [2]. Зависимостта на механичните свойства от направлението на текстурата може да се окаже полезно за практиката, но обикновено е нежелано явление.

С навлизането на все по-нови листови материали с по-добри механични и технологични свойства [8] се налага все по-често да се определя влиянието на анизотропията върху механичните и технологичните свойства на листовите материали [4, 5]. Граничната деформация в голяма степен зависи от химическия състав, структурата, строежа на зърната, формата на разпределение на карбидите при стоманите, състоянието на повърхността на листа, коефициента на деформационно уякчаване и характера на уякчаване, наличието на предварителна деформация, коефициента на нормална анизотропия и степента на еднородност на листовия материал [3].

Както е известно определянето на анизотропията на листовите материали е стандартизиран метод и се извършва чрез провеждане на стандартни изпитания на опън по БДС EN ISO 6892-1:2009 изискващ отрязването на образци поне на три от основните направления 0° , 45° и 90° спрямо посоката на валцоване. Въпреки доказалата се достоверност на метода, той има и своите недостатъци – изисква се изпитвателна машина, отговаряща на изискванията на стандарта; подготовката на образците и изпитването им отнемат време, а също така и разхода на материал не е никак малък. Един от начините за да се избегнат тези негативи е да се търси друг метод за определянето на анизотропията на листовите материали.

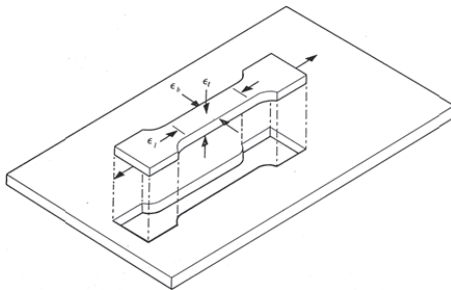
Целта на настоящата работа изследване възможността за определяне на анизотропността на листов материал Х5СrNi18-10, чрез измерване на твърдост по метода на Викерс.

ТЕОРЕТИЧЕН АНАЛИЗ

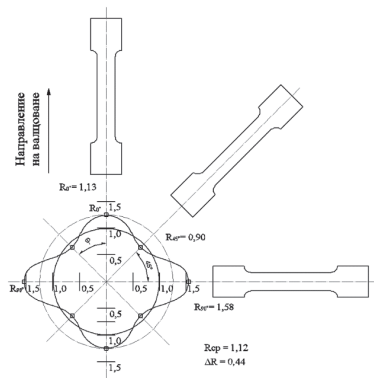
Коефициентът на нормална анизотропия R е предложен от Ланкфорд В. и представлява отношението на логаритмичните деформации в две взаимно перпендикулярни направления на изследваната проба [3, 6, 7]:

$$R = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_t} = \frac{\ln\left(\frac{b}{b_0}\right)}{\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)} \quad (1)$$

където: b_0 и b са съответно изходната и текущата ширина; t_0 и t - изходната и текущата дебелина на листовият материал (фиг.1).



Фиг.1 Схема за определяне на деформациите върху пробните тела.



Фиг.2 Зависимост на коефициента на нормална анизотропия

Стойността на този коефициент се променя в зависимост от ъгъла, който оста на пробата склучва с направлението на валцоване (фиг.2). Представа за анизотропията на листа като цяло дава средният коефициент на нормална анизотропия, изчисляван по следната формула [3, 6]:

$$R_{cp} = \frac{1}{4} \cdot (R_{0^\circ} + 2 \cdot R_{45^\circ} + R_{90^\circ}) \quad (2)$$

където: R_{0° , R_{45° и R_{90° са частни коефициенти на анизотропия, определени върху пробни тела, изрязани съответно под 0° , 45° и 90° спрямо направлението на валцоване.

Внимателен теоретичен анализ на влиянието на основните фактори от гледна точка на граничните деформации, достигани при различните технологични процеси, е проведен в [9]. Данни за средната нормална анизотропия от множество експерименти са представени от Kalpakjian S., които сочат че максимална стойност на анизотропията има титанът - $4 \div 6$, минимална – цинкът - $0,2$, стойности между $1,0 \div 1,8$ имат студено валцовани ниско-въглеродни стомани, дезоксидирани стомани и студено-валцовани алуминиеви сплави, а по-ниска от единица анизотропия имат алуминият, медта и месинга - $0,6 \div 1,0$ [6].

Определянето на равнинната анизотропия се оценява чрез коефициента за равнинна анизотропия \hat{R} . Той представлява отношението на логаритмичните

деформации в две взаимно перпендикулярни направления на изследваната проба и се определя по зависимостта:

$$\hat{R} = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_t} = \frac{\ln\left(\frac{l}{l_0}\right)}{\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)}, \quad (3)$$

където: l_0 е първоначалната дължина и l крайна дължина на изпитваният образец. Представа за равнинната анизотропия на листа като цяло дава средния коефициент на равнинната анизотропия:

$$\hat{R}_{cp} = \frac{1}{2} \cdot (\hat{R}_{0^\circ} - 2 \cdot \hat{R}_{45^\circ} + \hat{R}_{90^\circ}) \quad (4)$$

където \hat{R}_{0° , \hat{R}_{45° , \hat{R}_{90° са частни коефициенти на равнинната анизотропия, определени върху пробни тела.

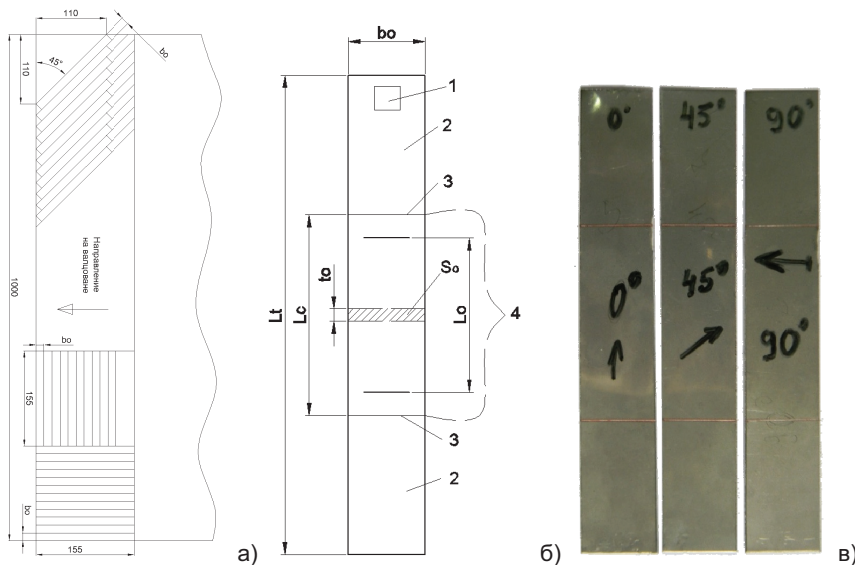
МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Използваната методика е съчетание от два метода на изпитване.

Първият метод е чрез изпитване на едномерен опън до степен на деформация 20% и контролирана скорост 5mm/min на пробни тела разкроени от листов материал с габаритни размери 1000x2000mm и дебелина $t_0=0,6mm$ (фиг.3.а). Формата и размерите на образците за изпитване са изработени по стандарт ISO-6892-1-2009. При избрана ширина на лентата $b_0=25\pm 1mm$, и препоръчвани начална изчислителна дължина $L_0=50mm$ и работна дължина на изпитание $L_C\geq 57mm$ е избрана $L_C=65mm$. Зоната за захващане на заготовката е прието да е равна на b_0 , а дължината ѝ $L_{OP}=45mm$. При така подобрите размери на заготовката общата ѝ дължина се получава $L_{OB}=155mm$.

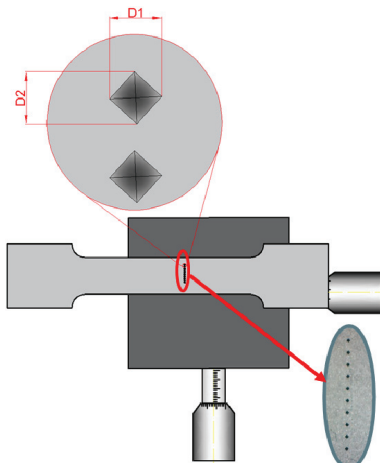
Лентите от листовия материал се нарязват по трите направления спрямо посоката на валцоване т.е. 0° , 45° и 90° . Част от образците, по пет броя от направление, са за определяне на механичните свойства на материала, като от тях се вземат проби за анализ на химическият му състав. Изпитанието за определяне на механичните характеристики на материала се извършва с контролирана скорост 5mm/min до падане на натоварването с 100N или силата до 90%, или разрушаване на изпитвания образец на универсална изпитвателна машина „Instron-3384“, в която е зададен методът. Останалите образци са за определянето на анизотропията на материала при вече уточнената степен на деформиране за трите направления. Преди и след изпитването на всеки образец се измерват началната ширина - b_0 , дебелина - t_0 , дължина - l_0 , а така също и след 20% степен на деформация съответно: ширина - b , дебелина - t , дължина - l . Получените стойности се нанасят в таблици за определянето на частните коефициенти (R_{0° , R_{45° , R_{90° , \hat{R}_{0° , \hat{R}_{45° и \hat{R}_{90°) за определянето на нормалната R и равнинната \hat{R} анизотропия на изследваният листов материал.

При втория метод върху образците преди изпитването им на едномерен опън се нанасят по десет последователни отпечатьци с твърдомер Vickers Hardness Tester 432 SVD (фиг.4) през стъпка 0,50mm, на които се измерват диагоналите D1 и D2. Получените стойности на размерите са съответно началните размери по дължина - l_0 и по ширина - b_0 на изследваният образец.

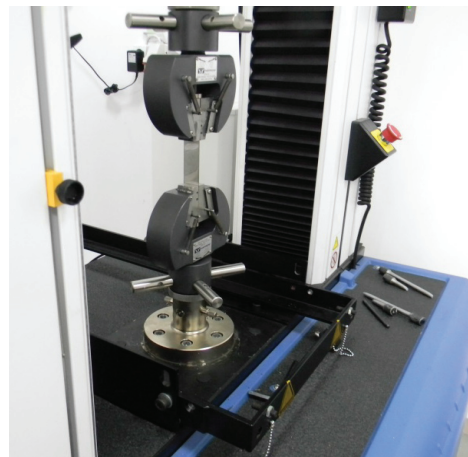


Фиг. 3 Пробни тела за едномерен опън от X5CrNi18-10: а), схема на разкрояване б) схема с основни параметри на образца по стандарт БДС EN ISO-6892-1, в) общ вид на образците, 1- място за маркиране, 2 - зона за захващане - $L_{оп}$, 3 - реперни линии, 4 – работна зона

След прилагането на 20% деформация се измерват новите диагонали $D1$ и $D2$, които съответстват на размери по дължина – l и по ширина – b . За да се определи частният коефициент на равнинната анизотропия \hat{R} , чрез измерване на твърдост е необходимо да се знае деформацията по дебелина ϵ_t .



Фиг.4 Схема на образца с нанесени отпечатьци



Фиг.5 Закрепена заготовка за изпитване на машина Instron-3384

Определянето на деформацията по дебелина се определя чрез закона за запазване на обема в изследваната област т.е.:

$$\varepsilon_b + \varepsilon_l + \varepsilon_t = 0 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_t = -(\varepsilon_b + \varepsilon_l) \quad (5)$$

По този начин могат да бъде определени частните коефициенти на равнинната (3) и нормалната анизотропия (1) чрез измерването на твърдост по метода на Викерс за всеки един отпечатък.

Получените стойности на частния коефициент (R_{0° , R_{45° , R_{90° , \hat{R}_{0° , \hat{R}_{45° и \hat{R}_{90°) от десетте измервания по всяко направление се събират и осредняват. Осреднените стойности на частните коефициенти се използват за определянето на средния коефициент на равнинна \hat{R}_{cp} (4) и нормална анизотропия R_{cp} (2) чрез измерване по Викерс:

При дебелина на листовия материал $t_0=0,6mm$ дълбочината на проникване h_v не трябва да надвишава $1/10$ от началната дебелина t_0 . Геометрично изчисление максимален размер на квадрата е $a_v=0,297mm$, а оптимална сила на натоварване $F_v=5kg$ е определена експериментално. При така уточнената сила отпечатъкът не надвишава изчисления размер a_v , а измерените диагонали $D1=D2 \leq 0,420mm$.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗИ

Определените механични характеристики на изследвания листов материал по трите направления спрямо посоката на валцоване са сравнени с дадения сертификат на материала и обобщени в табл. 1. От получените резултати се забелязва, че якостта на опън R_m , условната граница на провлачване $R_{p0,2}$ и измерената твърдост $HV5$ са в границите на допустимото. Относителните удължения A в различните направления се различават. В перпендикулярното направление 90° стойности е най-малка, а по направление 45° стойността превишава с два пъти спрямо посоката на валцоване 0° и с 69% спрямо сертификата. Тези разлики в степента на деформиране е свидетел за наличие на анизотропност в материала. Това обаче не достатъчно за доказване за наличие на анизотропия. Както показват наши изследвания това може да се дължи на структурни и фазови промени при изпитването му [11].

Таблица 1

Механични свойства на стомана X5CrNi 18-10, $t_0=0,6mm$						
Марка		$R_{p0,2}$ (MPa)	R_m (MPa)	R_e/R_m	A (%)	HV5
Определено количество	min	270	540			169,3
	max		750		45	189,5
Измерени по направления	0°	305	615	0,496	38	188,1
	45°	310	690	0,449	76	188,1
	90°	285	550	0,518	29	188,1

Таблица 2

Химически състав на X5CrNi18-10 в % - , $t_0=0,6mm$											
Химични елементи	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	N	P	S	Други
Определено количество	min	-	-	-	8,0	17,5	-	-	-	-	-
	max	0,07	1,0	2,0	10,5	19,5	-	-	0,11	0,045	0,015
Получен анализ от квантометър „SPECTRON“	0,071	0,447	1,39	7,57	18,13	0,203	<0,001		0,011	0,0067	

Важно е да се отбележи, че получената стойност на отношението R_e/R_m (близо 0,5), е признак за добра деформируемост на метала.

За правилното анализиране на листовия материал е направен и химичен анализ с квантометър „SPECTRON“ (табл. 2). Определения анализ потвърждава марката закупена стомана. Но въпреки това прави впечатление, че съдържанието на никела е по ниско с 0,43% от допустимото. Анализът показва и наличие на молибден

$M_0=0,203\%$, който не е индексирани в сертификата, а така също и в известните стандарти на материала.

Изследваната анизотропия на материала по стандартния метод до степен на деформация 20% показва, че материала е анизотропен. Получените стойности на частните коефициенти по направления R_0 , R_{45} , R_{90} , а така също и средният коефициент на анизотропия (табл. 3) потвърждават получения резултат.

Таблица 3

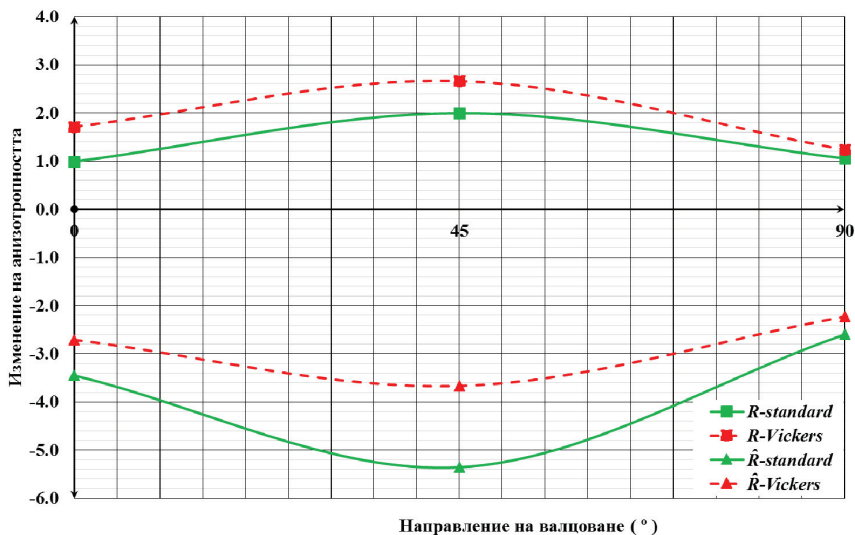
Исходни параметри на пробните тела от листов стомана X5CrNi18-10 0,6mm									
Температура на помещението T (°C)		Скорост на натоварване v (mm/min)		Работна дължина L_C (mm)		Начална ширина b_0 (mm)		Начална дебелина t_0	
23,6°C		5 mm/min		65mm		25mm		0,6mm	
Резултати от определянето на нормалната анизотропия по стандарт									
Направление	Степен на деформация	Начална ширина	Начална дебелина	Текуща ширина	Текуща дебелина	ϵ_b	ϵ_t	R	R_{cp}
	ϵ %	b_0 (mm)	t_0 (mm)	b (mm)	t (mm)	-	-	-	-
0°	20	25.94	0.59	24.63	0.56	-0.0518	-0.0522	0.9930	1.51
45°	20	25.33	0.6	23.67	0.58	-0.0678	-0.0339	1.9993	
90°	20	25.62	0.6	23.82	0.56	-0.0728	-0.0690	1.0559	
Резултати от определянето на равнинната анизотропия по стандарт									
Направление	Степен на деформация	Начална дължина	Начална дебелина	Текуща дължина	Текуща дебелина	ϵ_l	ϵ_t	\hat{R}	R_{cp}
	ϵ %	l_0 (mm)	t_0 (mm)	l (mm)	t (mm)	-	-	-	-
0°	20	65	0.59	77.82	0.56	0.180	-0.0522	-3.4494	2.33
45°	20	65	0.6	77.94	0.58	0.1816	-0.0339	-5.3553	
90°	20	65	0.6	77.76	0.56	0.1792	-0.0690	-2.5979	
Резултати от определянето на нормална анизотропия по метода на Викерс									
Направление	Степен на деформация	Начална дължина	Начална ширина	Текуща дължина	Текуща ширина	ϵ_b	ϵ_t	R	R_{cp}
	ϵ %	l_0 (μm)	b_0 (μm)	l (μm)	b (μm)	-	-	-	-
0°	20	222.04	221.95	285.33	189.46	-0.1583	-0.0925	1.7111	2.07
45°	20	222.02	221.88	284.86	185.1	-0.1812	-0.0680	2.6643	
90°	20	222.04	221.95	285.55	193.18	-0.1388	-0.1127	1,2321	
Резултати от определянето на равнинната анизотропия по метода на Викерс									
Направление	Степен на деформация	Начална дължина	Начална ширина	Текуща дължина	Текуща ширина	ϵ_l	ϵ_t	\hat{R}	R_{cp}
	ϵ %	l_0 (μm)	b_0 (μm)	l (μm)	b (μm)	-	-	-	-
0°	20	222.04	221.95	285.33	189.46	0.2508	-0.0925	-2.7111	1.19
45°	20	222.02	221.88	284.86	185.1	0.2492	-0.0680	-3.6643	
90°	20	222.04	221.95	285.55	193.18	0.2515	-0.1127	-2.2321	

Трябва да се отбележи, че стойност на получената средна равнинна анизотропия е по висока с 54% от нормалната анизотропия. Данни за такава разлика в литературата и от други автори [11, 12] е доста ограничена и теоретично е описано, че могат да се различават. Резултатът за определянето на анизотропията по стандарт показва, че изследваният материал се деформира повече по ширина и дължина, отколкото по дебелина.

Както е известно за правилното определяне на твърдостта на материалите по метода на Викерс е необходимо да се направят поредица от измервания, които след това да се осреднят. В разработената методика са предвидени десет

последователни измервания с еднакво натоварване през определена стъпка. Получените стойности са анализирани статистически и осреднените им стойности са нанесени в табл. 3. Както се забелязва разработеният метод за определяне на анизотропността на листовите материали чрез измерване по методът на Викерс, с известни отклонения показва, че материалът е анизотропен. Отклоненията в резултатите при средната нормална анизотропия в сравнение с разработената методика е 37%, а при средната равнинната анизотропия в сравнение с разработената методика е 47%.

Тези разлики могат да се дължат на фактори, като - структурни промени, фазови превръщания, промяната на повърхностната грапавост [13, 14, 15] и др., които пряко влияят върху големината на отпечатъка т.е. върху размерите на диагоналите.



Фиг.6 Изменение на анизотропността по стандарт и по метода на Викерс.

При разглеждане на получената от частните коефициенти на нормалната (R_{0° , R_{45° , R_{90°) и равнинната (\hat{R}_{0° , \hat{R}_{45° и \hat{R}_{90°) анизотропия диаграма, определена по метода на Викерс и при изпитване на опън се забелязва сходност в характера на получените криви (фиг.6). Въпреки, че по предлаганата в работа методика се получават по-високи стойности за коефициентите на анизотропия. Диаграмата показва и изменението на анизотропността в различните направления, като най-високи и ниски стойности се получават при пробите отрязани по 45° . Тези резултати показват и най-благоприятната посока на разтегляне без поява на разрушение, които се потвърждават от сегашни и предходни изследвания на едномерен опън. Независимо от различията разработената методика може да служи за определянето на наличието на анизотропия в листовите материали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. От получените се стойности на частните коефициенти на равнинната и нормалната анизотропия се установява че изследваният материал е анизотропен.
2. От проведените сравнения между големините на диагоналите, при степен на деформация по-малка от $\varepsilon < 30\%$ диагонала $D2 > D1$, което противоречи на теоретичните разсъждения.
3. Разработената методика дава възможност за бързо определяне на анизотропността при изследване на листови материали.
4. Получените резултати от разработената методика за определянето на анизотропията чрез измерване на твърдост по метода на Викерс потвърждават наличието на анизотропия в изследвания листов материал.
5. Необходими са повече изследвания с други листови материали, които имат изразена анизотропия за потвърждаване и достоверността на получения резултат от разработената методика.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] William D. Callister, jr. & David G. Rethwisch, „Fundamentals of Materials Science and Engineering“, An Integrated Approach, WILEY, 2008, ISBN: 978-0470-23463-1, Printed in Asia
- [2] Jiantao Liu, „Texture and Grain Boundary Evolutions of Continuous Cast and Direct Chill Cast AA 5052 Aluminum Alloy During Cold Rolling“, TMS Outstanding Student Paper Contest Winner-2002 Graduate Division, Department of Chemical & Materials Engineering, University of Kentucky, Lexington, KY 40506-0046
- [3] Христов С., „Изпитване и дефектоскопия на металите“, Софоя, Печ. ТУ-София, 1988;
- [4] Тончев Н., „Ефективни решения при обработването на метални материали на желязна основа“, ВТУ „Тодор Каблешков“, София, 2012, ISBN: 978– 954–0217–3.
- [5] Желев А., „Материалознание техника и технология“ – том II: Технологични процеси и обработваемост, София, 2003г., ISBN: 954-18-0297-4, Издателство Булвест 2000, 2003,
- [6] Kalpakjian S., „Manufacturing Processes for Engineering Materials“ Second Edition, Illinois Institute of Technology, 1991, ISBN: 0-201-60702-6, Printed in the United States of America.
- [7] Томов Б., „Технология и инструменти за щанцоване“, Русе, 1987г., Печатна база при ВТУ „Ангел Кънчев“
- [8]. Das A., P. C. Chakraborti, S. Tarafder, H. K. D. H. Bhadeshia, Analysis of deformation induced martensitic transformation in stainless steels Materials Science and Technology 2011 VOL 27 NO 1 pp.366-369;
- [9] Marciniak Z., „Odsztalcenia graniczne przy tloczeniu blach“, Warszawa, WNT, 1972
- [10] Янков Е., М. Николова, В. Захаријева, Д. Господинов, Механични, структурни и фазови изменения при едномерен опън на листови материали.// Машиностроене и машинознание, 2014, брой Книга 2, 21, стр. 24-29, ISSN 1312-8612.
- [11] Cheng P., Y. Lawrence Y., “The Influence of Sheet Metal Anisotropy on Laser Forming Process”, Columbia University, Copyright © 2005 by ASME Vol. 127, August 2005, pp.572-582
- [12] Dieter, G.E.: “Mechanical Metallurgy”, McGraw-Hill Book Co., United Kindom, 1988, Hosford, W.F. and Caddell R.M: “Metal Forming: Mechanism and Metallurgy”, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J, 1983.
- [13]. Zhang Tong-Yi, Wei-Hua Xu, Ming-Hao Zhao, The role of plastic deformation of rough surfaces in the size-dependent hardness; Acta Materialia, 52 (2004), p.57–68;

[14] Янков Е., М. Николова, В. Захаријева. Фазово превръщане на аустенитни листови материали при едномерен опън на студена пластична деформация. В: Научни трудови на РУСГУ, Русе, 2013, стр. 158 - 164, ISBN ISSN 1311-3321.

[15] Янков Е., М. Николова, В. Захаријева, В. Гагов, Д. Господинов. Промени в механичните свойства на аустенитни листови материали при едномерен опън. В: Научни трудове на РУ, Русе, 2013, стр. 152-157, ISBN 1311-3321.

За контакти:

Ас. Емил Янков, Катедра "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888205 К-т 3.209, e-mail: eyankov@uni-ruse.bg

доц. д-р Данаил Господинов, Катедра "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888205 К-т 3.209, e-mail: dgospodinov@uni-ruse.bg

доц. д-р Валентин Гагов, Катедра "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888778 К-т 3.201, e-mail: gag@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.